

Автор:

И.Пиданов, инженер метролог, ОАО «Запорожогнеупор», г. Запорожье

## Метрологическое обеспечение измерительного канала АСУ ТП

На ОАО «Запорожогнеупор» для обжига огнеупорных изделий используются туннельные печи. В зависимости от марки изделия изменяется температурный режим обжига. Для автоматизации технологического процесса было принято решение о модернизации туннельной печи. Внедрение автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) позволит кардинально повысить качество выпускаемой продукции и обеспечит ее конкурентоспособность на рынке.

Вопрос на сколько эффективна проведенная модернизация? На сколько оправдались ожидания? Внедрение АСУ ТП позволяет снизить трудоемкость работы оператора, исключить возможность субъективных ошибок, но без должного внимания к обеспечению точности измерения, в данном случае температуры, при управлении технологическим процессом, не возможно говорить о повышении качества продукции.

Проектируемая АСУ ТП туннельной печи не входит в сферу государственного метрологического надзора п.4.6 ДСТУ 2709-94, но только при условии выполнения требований нормативных документов по метрологии [4] можно гарантировать эффективность работы АСУ ТП в целом.

Для обеспечения точности, правильности и сходимости измерения температуры в зоне обжига, необходимо правильно выбрать тип измерительного канала (ИК) АСУ ТП. Измерительный канал [3] состоит из средств измерения температуры, линии связи (ЛС) и устройств связи с объектом (УСО). Метод или способ измерений выбирают только после оценивания отдельных составляющих погрешностей измерений ИК АСУ ТП и определения их доминирующих составляющих [5].

Оценим проектное решение [4], принятое и внедренное на нашем предприятии по измерительному каналу и рассмотрим другие возможные варианты.

### **1 вариант: Проектное решение, примененное на предприятии ОАО «Запорожогнеупор».**

С целью экономии, для измерения температуры в зоне обжига, оставили стационарные пирометры – телескопы радиационного пирометра «ТЕРА-50» (фото 1), производства Каменец - Подольского приборостроительного завода.

Рассмотрим основные составляющие погрешности канала измерения при подключении стационарного пирометра «ТЕРА-50» к автоматизированной системе управления технологическим процессом (АСУ ТП):

- основная допустимая погрешность пирометра;
- дополнительная погрешность пирометра, вызванная внешним воздействием среды;
- погрешность, вносимая линией связи;
- основная погрешность устройства связи с объектом (УСО).

### **Основная допустимая погрешность пирометра.**

Основная допустимая погрешность телескопа радиационного пирометра «ТЕРА-50», согласно техническим данным, должна находиться в пределах  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ .

Градуировочные характеристики телескопа пирометра с учетом основной погрешности и соответствующих значений напряжений, на выходных клеммах при нулевом токе нагрузки и температуре корпуса  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , приведены в таблице №1 [2].

Градуировочные характеристики телескопа пирометра РС-20

Таблица №1

Температура, °C	Значение напряжения при отклонении температуры вниз на (-20°C), мВ	Номинальное значение напряжения, мВ	Значение напряжения при отклонении температуры вверх на (+20°C), мВ
900	-	<b>2,31</b>	2,57
1000	3,45	<b>3,80</b>	4,20
1100	5,46	<b>5,95</b>	6,46
1200	8,26	<b>8,91</b>	9,58
1300	11,81	<b>12,65</b>	13,53
1400	16,41	<b>17,47</b>	18,58
1500	22,19	<b>23,48</b>	24,81
1600	29,09	<b>30,64</b>	32,23
1700	37,33	<b>39,15</b>	41,02
1800	46,80	<b>49,09</b>	51,40
1900	58,40	<b>60,75</b>	63,76
2000	71,82	<b>74,73</b>	-

Перед установкой на туннельную печь была проведена калибровка резервных пирометров «ТЕРА-50» методом сличения с однотипным рабочим эталоном «ТЕРА-50» №390 (гр. РС-20) по температурной лампе ТРУ 1100-2350 №116 ( $\lambda=0,656$  мкм ) [1].

Результаты проведения калибровки отражены в протоколе (таблица №2).

Протокол калибровки пирометров «ТЕРА-50»

таблица №2

№	Температура, °C Заводской №	1000	1200	1400	1600
		Отклонение от номинала, °C	Отклонение от номинала, °C	Отклонение от номинала, °C	Отклонение от номинала, °C
1	<b>757</b>	17	6	<b>42</b>	9
2	<b>1346</b>	17	11	<b>51</b>	8
3	<b>1059</b>	18	12	10	<b>28</b>
4	<b>606</b>	18	7	6	<b>40</b>
5	481	17	3	6	11
6	<b>580</b>	18	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>42</b>
7	35040	-10	-14	-9	-8
8	1403	17	11	15	13
9	1499	-6	-2	8	17
10	<b>1048</b>	11	13	8	<b>27</b>
11	1133	7	12	6	13
12	<b>928</b>	18	<b>39</b>	<b>31</b>	<b>30</b>
13	<b>835</b>	18	<b>33</b>	<b>36</b>	<b>42</b>
14	<b>716</b>	18	<b>33</b>	<b>26</b>	<b>42</b>
15	1177	-17	-15	-9	-8
16	210	17	18	10	17
17	<b>25939</b>	12	15	19	<b>42</b>
18	<b>31676</b>	18	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>40</b>
19	36620	0	1	-4	-6
20	1613	7	6	-5	-6

Замечание 1: отклонения показаний пирометров индивидуальны, поэтому следует проводить многократные измерения в одинаковых условиях, определять постоянную составляющую погрешности (систематическую погрешность), заносить данные в протокол и вносить эту поправку в измерительный канал АСУ ТП.

**Дополнительная погрешность пирометра, вызванная внешним воздействием среды.**

Температура корпуса пирометра, установленного на туннельной печи в защитной арматуре, зависит от температуры окружающей среды и поступающего воздуха в узел охлаждения. Для того чтобы свести до минимума влияние температуры параллельно термобатареи включается компенсационное сопротивление ( $R_{ш}=20$  Ом) из медной проволоки, намотанной на ее основание. Термобатарея составлена из 10 последовательно соединенных хромель-копелевых термопар (рис.1). Выходное сопротивление пирометра определяется суммой внутренних сопротивлений термопар и сопротивлением параллельного шунта:

$$R_{\text{вых}} = R_{\text{ш}} * \sum_{i=1}^{10} r_i / ( R_{\text{ш}} + \sum_{i=1}^{10} r_i ) ;$$

где  $R_{ш}$  - сопротивление шунта,

$r_i$  - внутреннее сопротивление термопары,

$R_{\text{вых}}$  – выходное сопротивление пирометра ( $\approx 6...7$  Ом),

$E_{\text{вых}}$  - источник термо ЭДС термобатареи ( НСХ гр. РС20, табл. №1 ).

Эквивалентная схема замещения «ТЕРА-50»

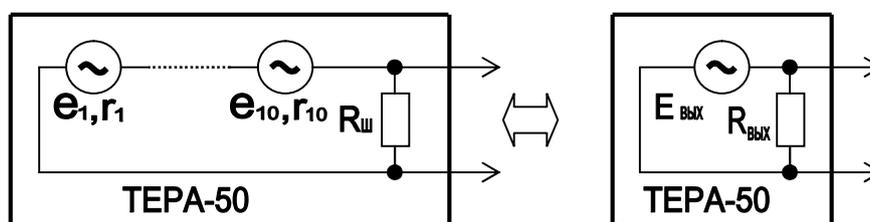


Рис. 1

Практически в период зима-лето температура корпуса изменяется в пределах  $T=+20...+60^{\circ}\text{C}$ , поэтому дополнительная погрешность при нагреве корпуса пирометра не превышает  $\Delta t=\pm 4^{\circ}\text{C}$ .

#### **Погрешность, вносимая линией связи.**

Сопротивление линии связи зависит от температуры окружающей среды.

Линия связи представляет собой медный двухжильный провод диаметром 1 мм и длиной до 100 м, проложенный возле туннельной печи. Сопротивление линии такой протяженности  $R_{л}\approx 4$  Ом.

Сопротивление провода зависит от температуры:

$$R_t = R_{20}[1+\alpha(t-20)/100];$$

где  $R_t$  - сопротивление линии при температуре  $t^{\circ}\text{C}$ ;

$R_{20}$  - сопротивление линии при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ ;

$\alpha$  - температурный коэффициент удельного электрического сопротивления (ТКС)  $\%^{\circ}\text{C}$ ;

$t$ -температура среды  $^{\circ}\text{C}$ .

В зависимости от температуры окружающей среды ( $0...+40^{\circ}\text{C}$ ) сопротивление линии изменится в пределах  $R_{лс}=3.68...4.32$  Ом, относительная погрешность сопротивления линии по температуре составит  $\gamma_t=\pm 8\%$ .

## Схема подключения пирометра «Тера-50» к АСУ ТП

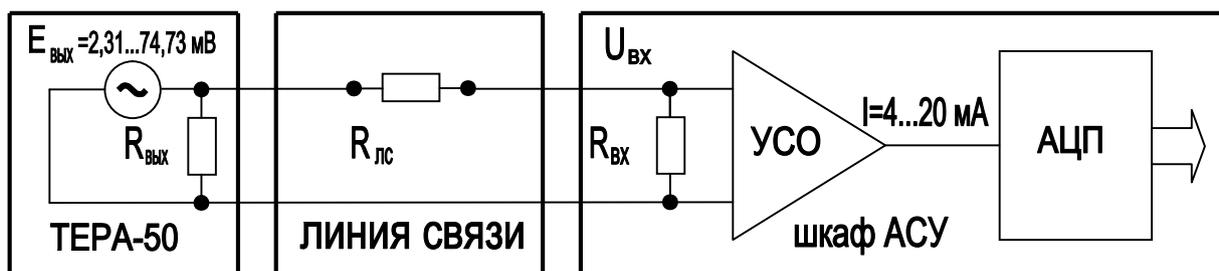


Рис. 2

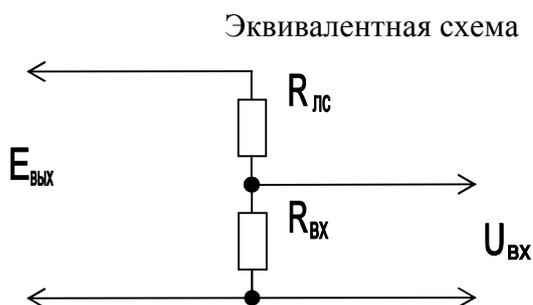


Рис. 3

Выходное напряжение на клеммах пирометра распределится следующим образом:  $U_{вх} = E_{вых} \times R_{вх} / (R_{вх} + R_{лс})$ ; на входе УСО будет часть исходного напряжения. Из уравнения следует, чем больше  $R_{вх} \gg R_{лс}$ , тем меньше зависимость входного напряжения от сопротивления линии связи. Чтобы сопротивление линии не вносило существенных изменений, входное сопротивление устройства связи с объектом должно быть не менее  $1000 R_{лс}$ , тогда погрешность, вносимая линией связи, будет в пределах  $\pm 0,008\%$ . Но есть еще ограничение, со стороны промышленных помех, на величину входного сопротивления устройства связи с объектом. Для уменьшения проникновения помех в измерительный канал необходимо правильно экранировать линию.

Замечание 2: Для устранения (уменьшения) влияния сопротивления линии связи на погрешность канала, необходимо УСО расположить в непосредственной близости к пирометру, а по линии связи передавать токовый сигнал.

### Основная погрешность устройства связи с объектом (УСО)

Пределы допускаемой основной приведенной погрешности УСО относительно НСХ  $\gamma = \pm 0.5 \%$

### 2 вариант: Возможное решение.

Для измерения высокой температуры в зоне обжига можно применить стационарные инфракрасные пирометры серии «Термоскоп -800» (фото 2) производства ООО «Инфратест», РФ, г.Екатеринбург. Схема подключения к АСУ ТП показана на рисунке 4. Рассмотрим составляющие погрешности канала измерения при подключении стационарного пирометра «Термоскоп -800» к автоматизированной системе управления технологическим процессом (АСУ ТП):

- основная приведенная погрешность пирометра;
- дополнительная погрешность пирометра, вызванная внешним воздействием среды;
- погрешность, вносимая линией связи.

Схема подключения пирометра «Термоскоп -800» к АСУ ТП

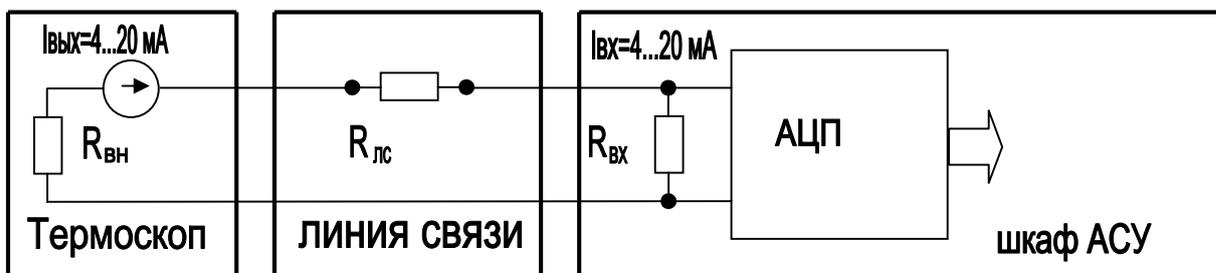


Рис. 4

### Основная приведенная погрешность пирометра

Основная приведенная погрешность пирометра «Термоскоп-800»  $\gamma = \pm 0,5 \%$ .

#### Дополнительная погрешность пирометра, вызванная внешним воздействием среды

Примененная схема термостабилизации позволяет применять пирометр без охлаждения, при температуре окружающей среды, в пределах от  $-10$  до  $+60^\circ\text{C}$ , с охлаждением от  $-10$  до  $+130^\circ\text{C}$ .

#### Погрешность, вносимая линией связи

«Термоскоп -800» имеет токовый выход 4-20 мА. Единственное ограничение на линию связи по сопротивлению нагрузки: сопротивление нагрузки должно быть не более 600 Ом, где  $R_{\text{н}}=R_{\text{лс}}+R_{\text{вх}}$ . Изменение сопротивления линии не вызывает изменения уровня сигнала, поэтому линия связи не вносит в измерительный канал погрешность.

#### 3 вариант: Прогрессивное решение, примененное на ОАО «Богдановичевский огнеупорный завод».

Для измерения высокой температуры в зоне обжига в 2002 году были установлены стационарные инфракрасные пирометры серии «Термоскоп -004» (производства ООО «Инфратест», РФ, г. Екатеринбург).

Погрешность канала измерения, при подключении стационарного пирометра «Термоскоп -004» по схеме подключения к АСУ ТП, показанной на рисунке 5, будет определяться в основном приведенной погрешностью пирометра  $\gamma = \pm 0,5 \%$ .

Схема подключения пирометра «Термоскоп -004» к АСУ ТП

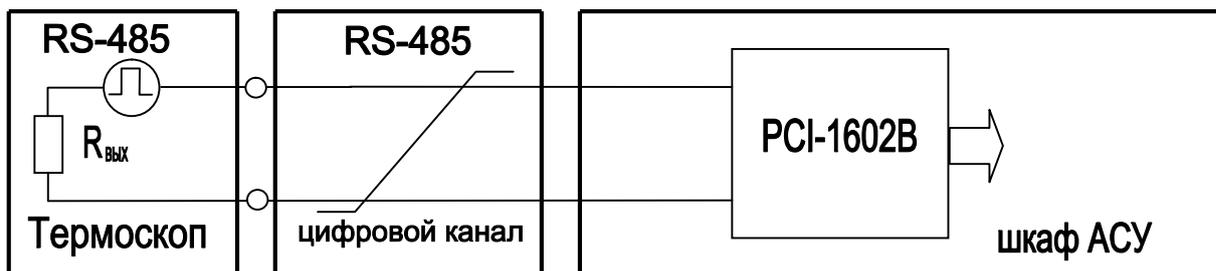


Рис. 5

В итоговой таблице №3 отражены составляющие погрешности измерительных каналов по вариантам.

Сравнительная таблица погрешности измерительных каналов

таблица №3

№	Основные погрешности измерительного канала	1 вариант пирометр «ТЕРА-50»	2 вариант пирометр «Термоскоп 800»	3 вариант пирометр «Термоскоп 004»
1	Основная допустимая погрешность пирометра (при $t=1500^{\circ}\text{C}$ )-	$\pm 20^{\circ}\text{C}$ $\pm 20^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,5\%$ $\pm 7^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,5\%$ $\pm 7^{\circ}\text{C}$
2	Дополнительная погрешность пирометра, вызванная внешним воздействием среды	$\pm 4^{\circ}\text{C}$	-	-
3	Погрешность, вносимая линией связи	$\pm 0,008\%$	- токовая петля 4-20мА	- интерфейс RS-485
4	Основная погрешность устройства связи с объектом	$\pm 0,5\%$	-	-

Вывод: самый точный и экономный 3-ий вариант, т.к. в процессе эксплуатации необходимо проводить калибровку только пирометрам «Термоскоп 004», а сбор информации осуществляется по одному стандартному кабелю типа «витая пара» к которому можно подключить до 32 пирометров. Неплохой, по точности измерения, и 2-ой вариант, но от каждого пирометра необходимо вести отдельную линию в шкаф АСУ ТП. 1-й вариант необходимо дорабатывать с учетом замечаний 1 и 2, проводить калибровку пирометров «Тера-50» совместно с измерительным каналом.

Проведенный анализ вариантов измерительных каналов наглядно показал важность метрологического обеспечения производства при внедрении АСУ ТП.

#### Литература:

1. ДСТУ 3194:2005. Государственная поверочная схема для средств измерения температуры. Бесконтактные средства измерения температуры.
2. ГОСТ 10627-71. Телескопы пирометров суммарного излучения. Градуировочные таблицы.
3. ДСТУ 2681-94. Метрология. Термины и определения.
4. ДСТУ 2709-94. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Метрологическое обеспечение.
5. ДСТУ-Н РМГ 64:2006 (РМГ 64-2003, ИДТ). Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений.

#### Контакт:

инженер метролог Пиданов Игорь ОАО «Запорожогнеупор»  
раб.тел. 8-061-231-17-14  
69106, г.Запорожье, ул. Северное шоссе, 1  
e-mail: [zoz@zaporozhogneupor.com](mailto:zoz@zaporozhogneupor.com)